

Untersuchung laser-ablativer Mikroantriebe am DLR Stuttgart

H.-A. Eckel, S. Karg, S. Scharring, C. Illg, V. Fedotov
Institut für Technische Physik, DLR Stuttgart

Workshop Mikroantriebe

16./17. April 2013

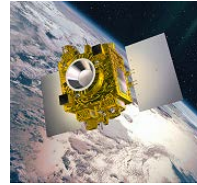


Wissen für Morgen

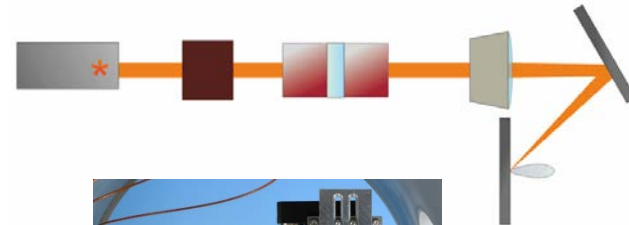


Überblick

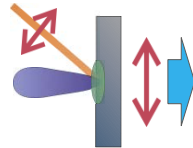
Zielsetzung



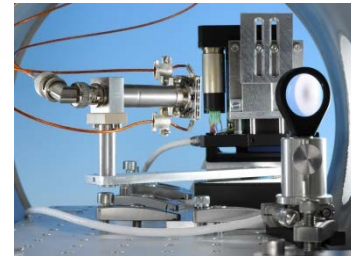
Antriebskonzept



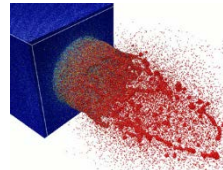
Ansatz



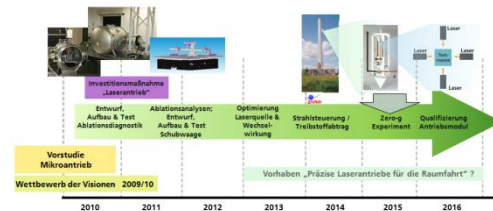
Experimentelle Arbeiten

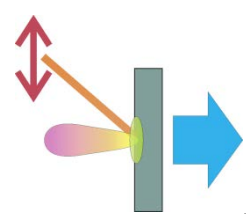


Modellierung



Zusammenfassung

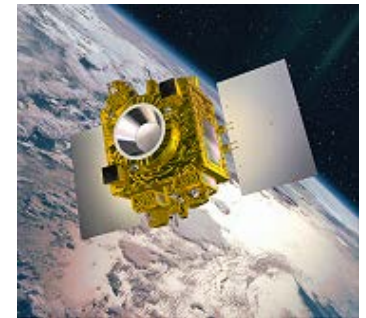




Zielsetzung



GRACE: © NASA/JPL-Caltech



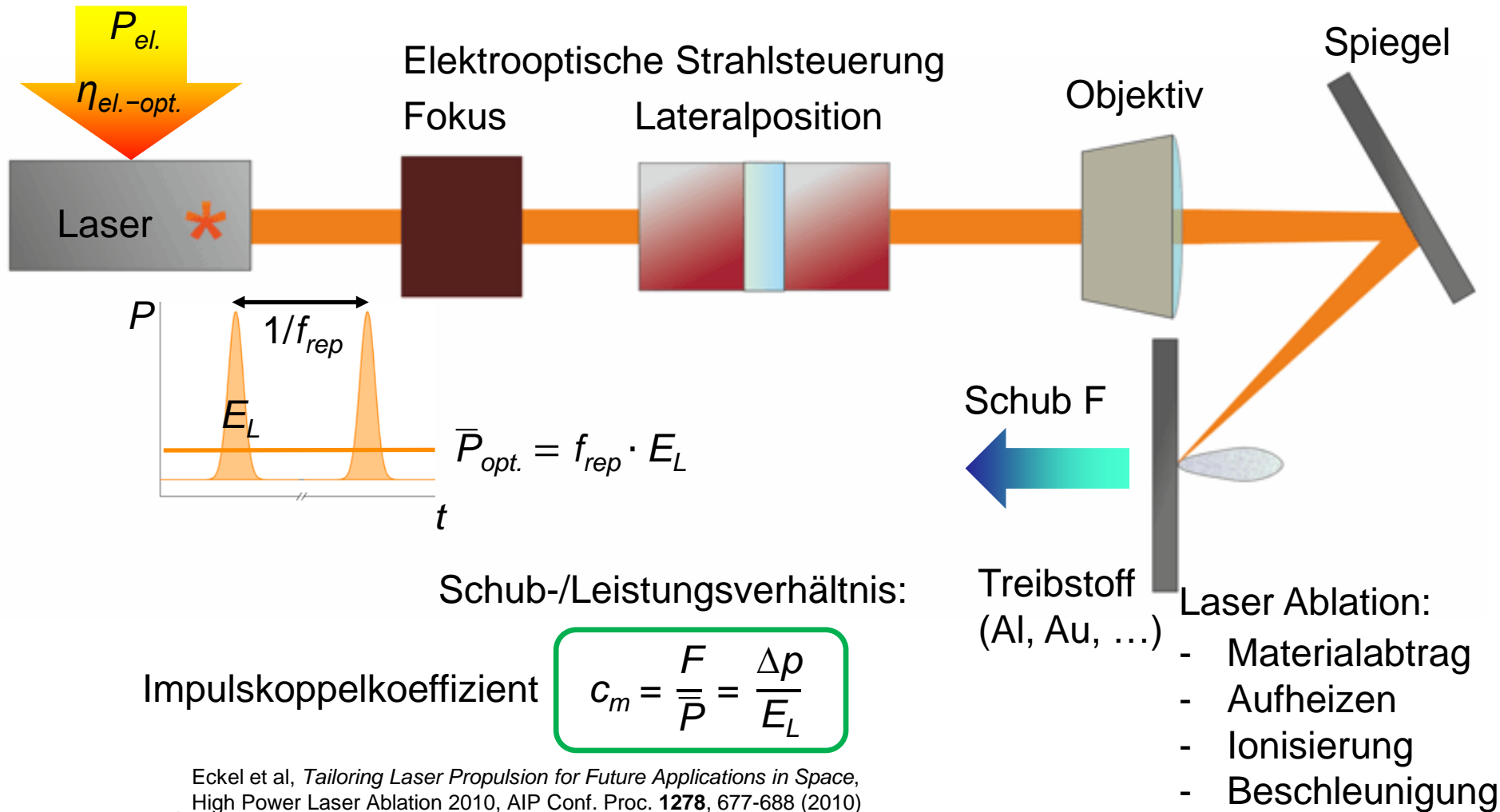
MICROSCOPE: © CNES

- Alternative Lageregelung im sub- μN bis mN-Bereich für
 - wissenschaftliche Missionen
 - Formationsflüge zur Erdbeobachtung
- Vollständige Vermeidung beweglicher Komponenten für
 - langjährige Betriebsdauer
 - *trägheitsfreien Betrieb*
- Minimale Restbeschleunigung $< 10^{-14} \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{Hz}^{-1/2}$
- LOI: ONERA, Astrium F

Dittus et al, *Applications of Microthrusters for Satellite Missions and Formation Flights Scenarios*, Beamed Energy Propulsion, AIP Conf. Proc. **1402**, 367-373 (2011)



Trägheitsfreies Antriebskonzept – Laser Ablation



Ansatz

Ziele

präziser Schub

Lebensdauer

Treibstoffverbrauch

Kontamination



Überblick

Kenngrößen

übertragener Impuls

ablatierte Masse

Oberflächenqualität

Plasmaplume



Ansatz

Parameter

Ablationsschema

Laserparameter

Targetmaterial

Optimierung

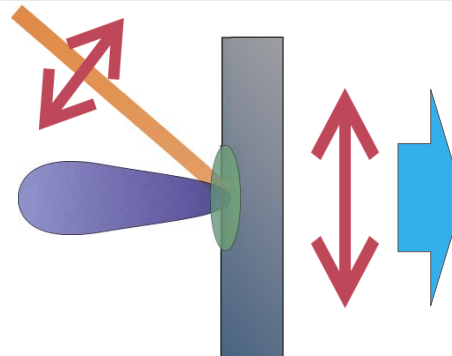
Kenngroßen

übertragener Impuls

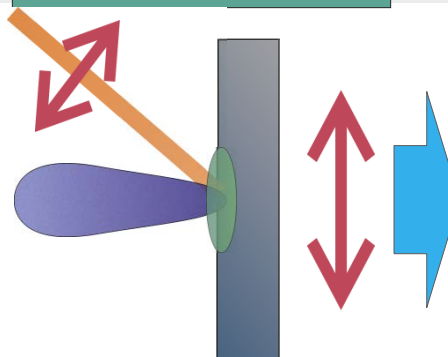
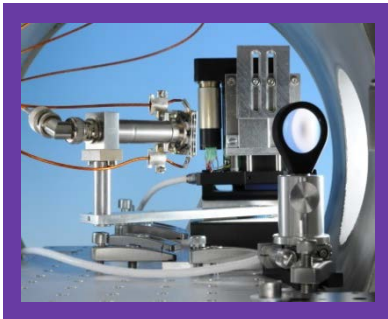
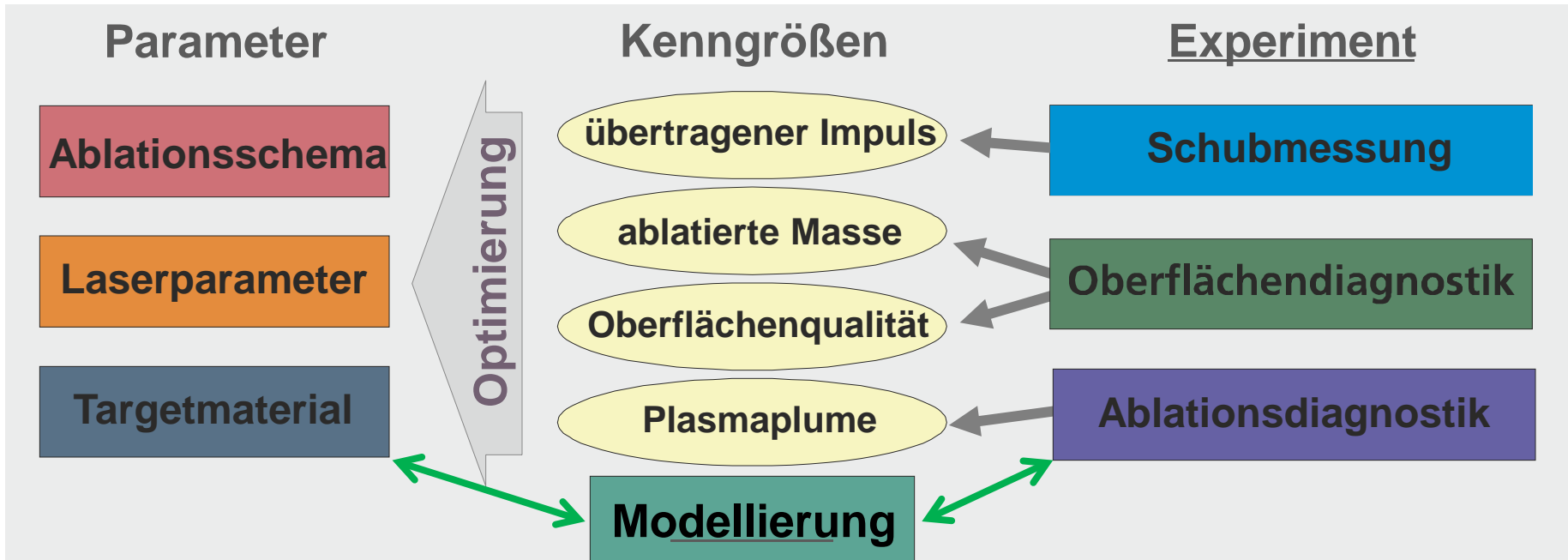
ablatierte Masse

Oberflächenqualität

Plasmaplume



Ansatz

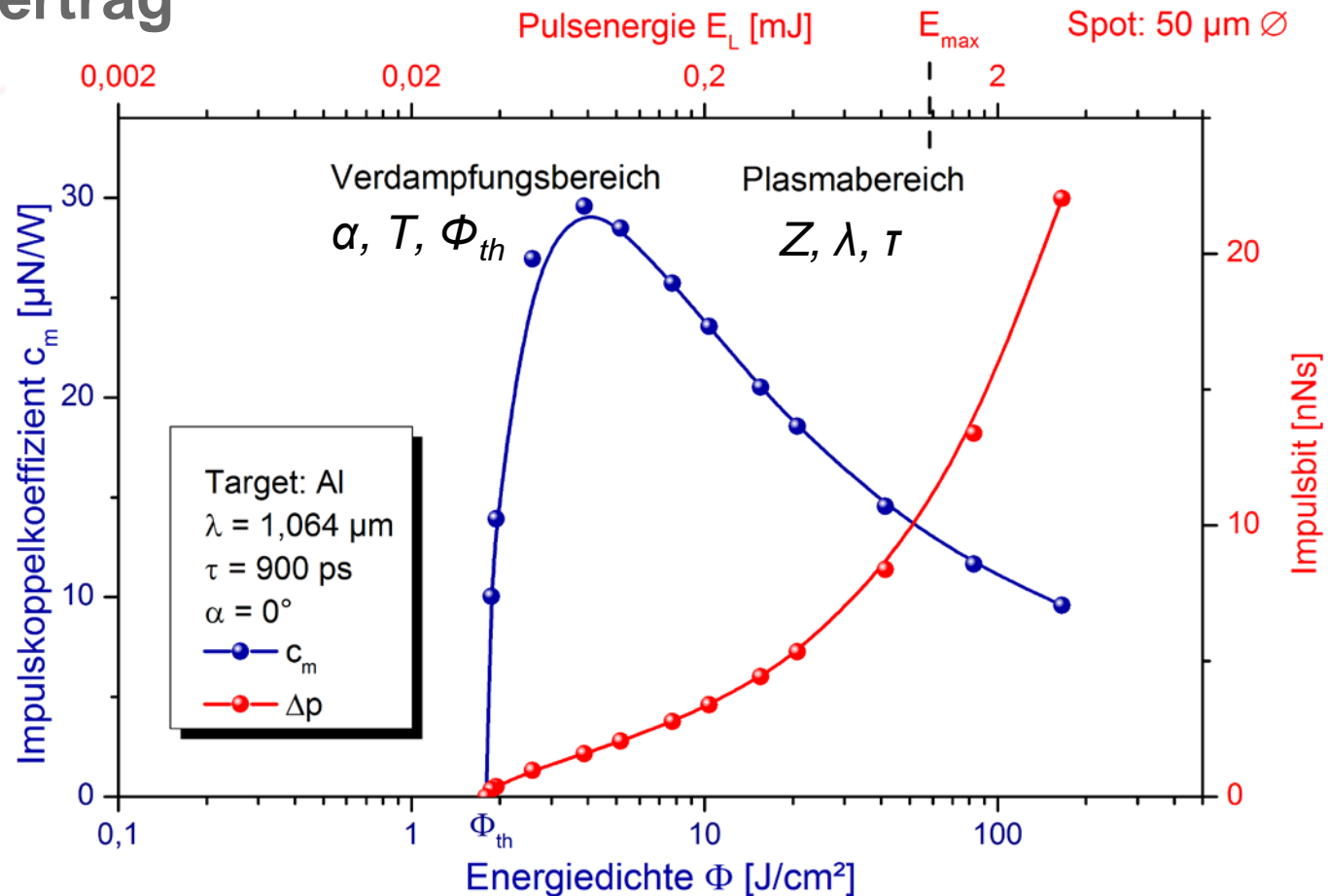


Impulsübertrag



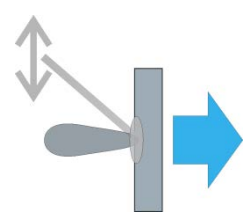
Mikrochiplaser
 $\bar{P}_{max} = 115 \text{ mW}$

Modellrechnung nach
 Zwei-Temperatur-Modell mit
 Virtual Laser Laboratory
 (<http://vll.ihed.ras.ru>)

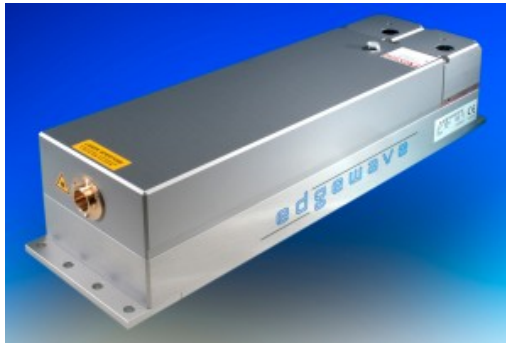


Sinko et al, *Models for Laser Ablation Mass Removal and Impulse Generation in Vacuum*,
 Beamed Energy Propulsion 6, AIP Conf. Proc. **1230**, 193-203 (2010)

Phipps et al, *Impulse coupling to targets in vacuum by KrF, HF, and CO₂ single-pulse lasers*,
 J. Appl. Phys. **64**(3), 1083-1096 (1988)



Schubcharakteristik



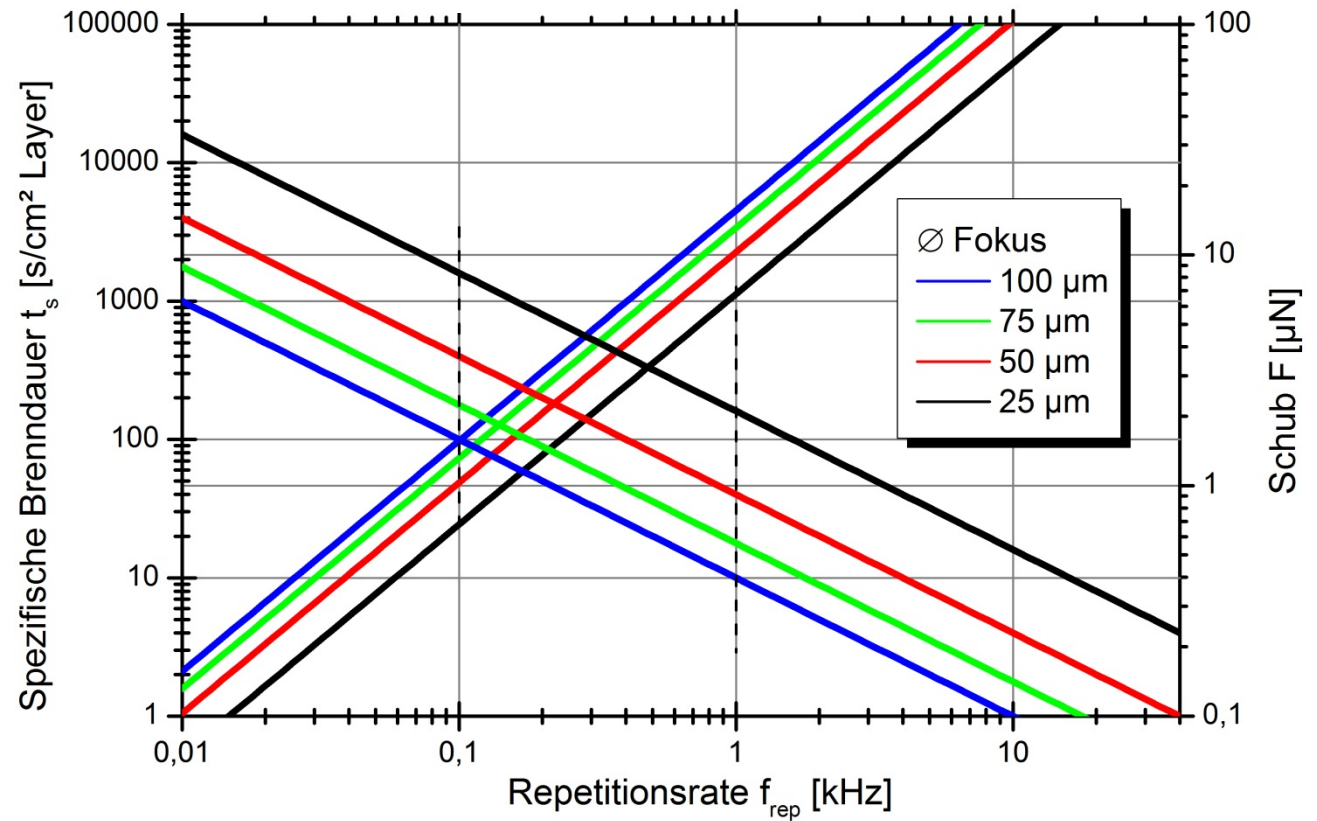
Stablaser

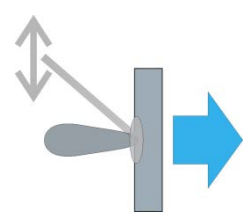
$\bar{P}_{max} = 35 \text{ W}$

Modellrechnung mit
experimentellen Werten
aus Phipps et al (s.o.)

$$E_L = 0.5 \text{ mJ}$$

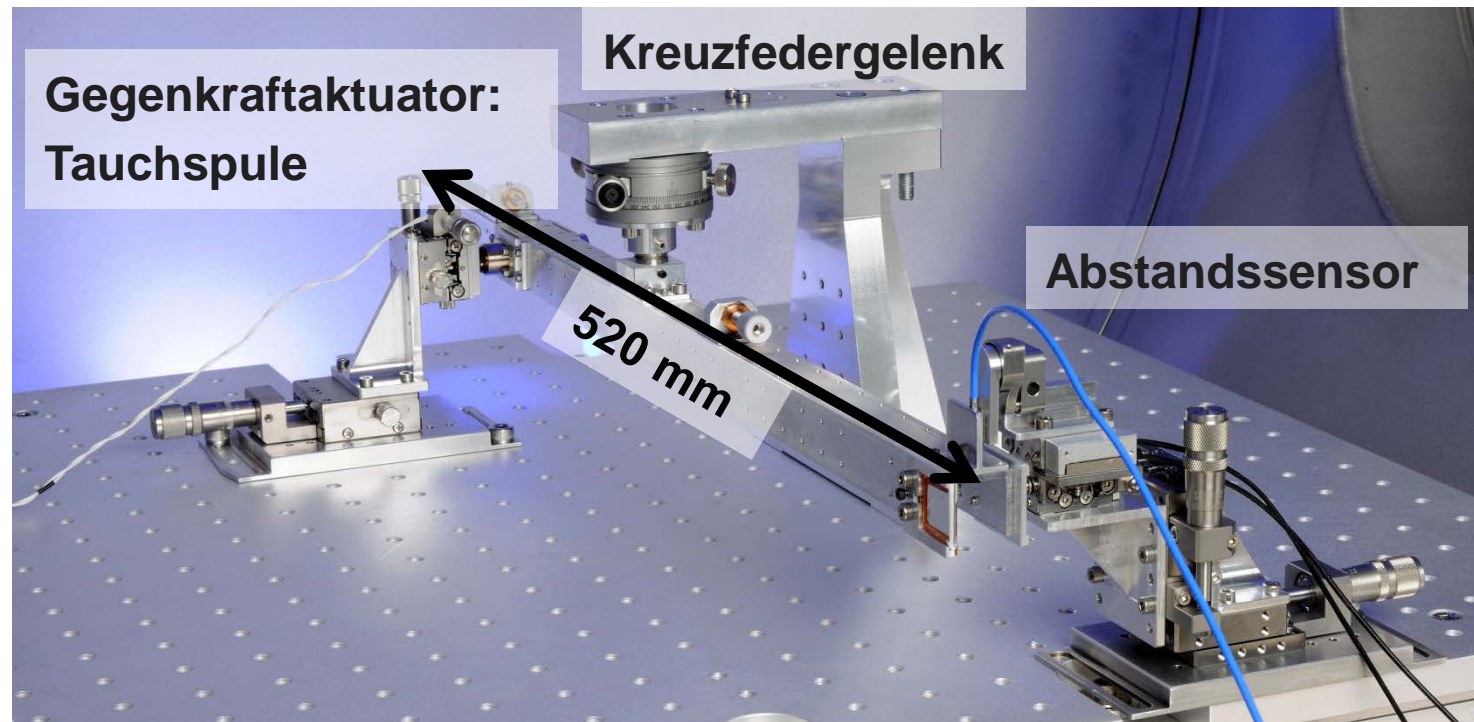
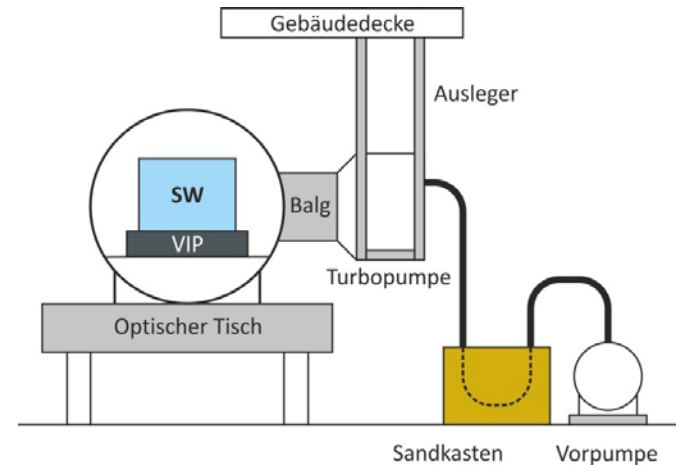
$$\tau = 10 \text{ ns}$$





Schubwaage

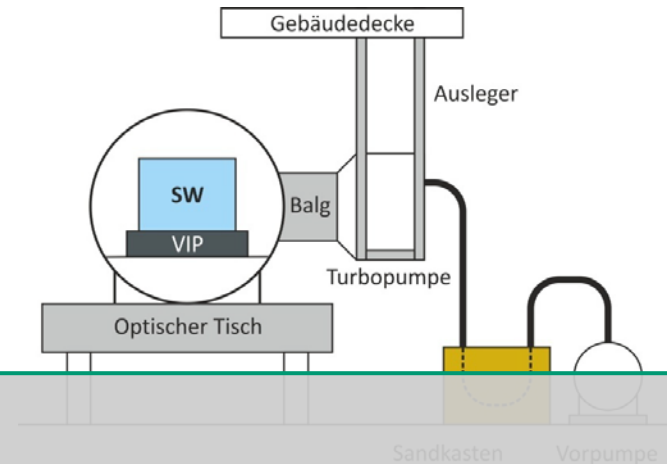
- Open und closed-loop Betrieb
- Vakuumkammer: 10^{-6} mbar, $l = 1$ m, $\varnothing = 0.8$ m
- 3-stufige Vibrationsisolation





Schubwaage

- Open und closed-loop Betrieb
- Vakuumkammer: 10^{-6} mbar, $l = 1$ m, $\varnothing = 0,8$ m
- 3-stufige Vibrationsisolation



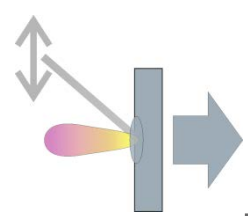
Details:

„Schubwaage für MICROLAS

- Status und Ausblick“

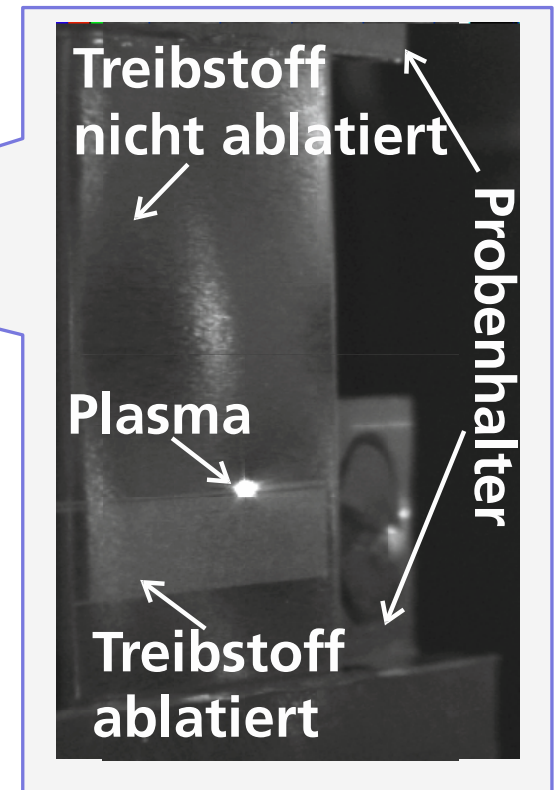
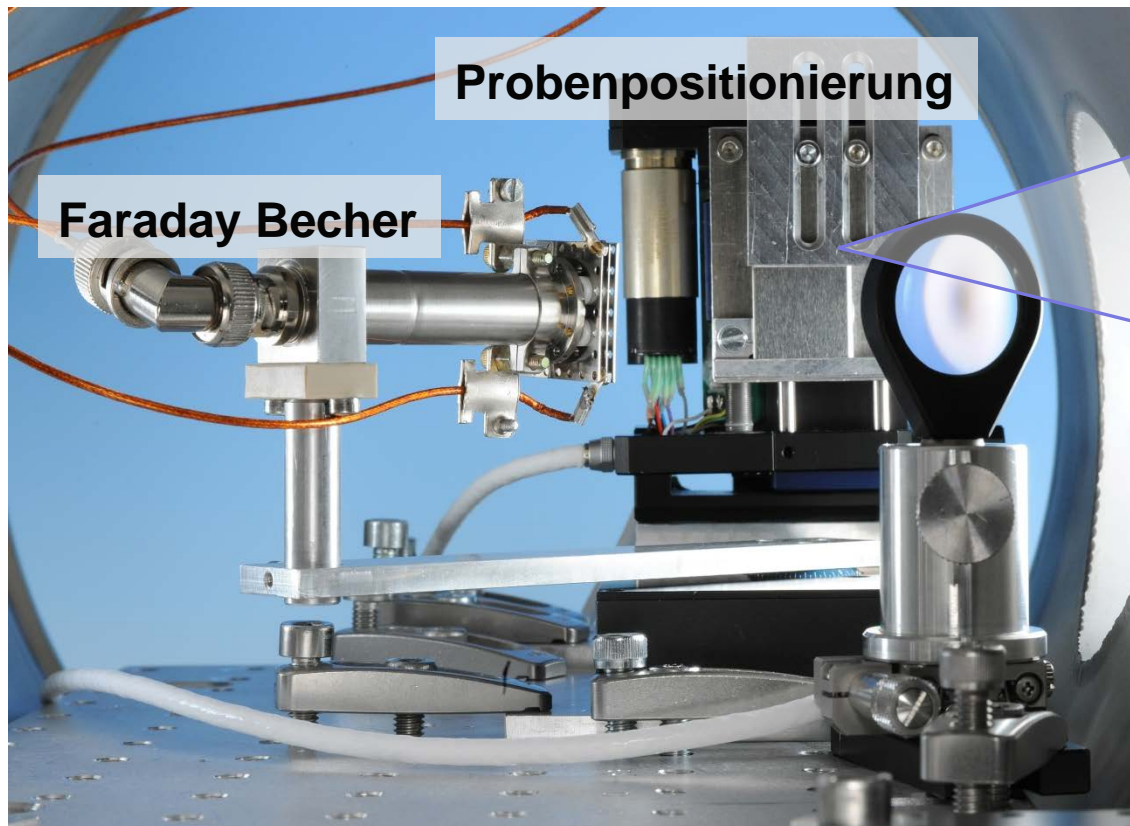
Mi 17. April, 13:30 h





Plasmadiagnostik

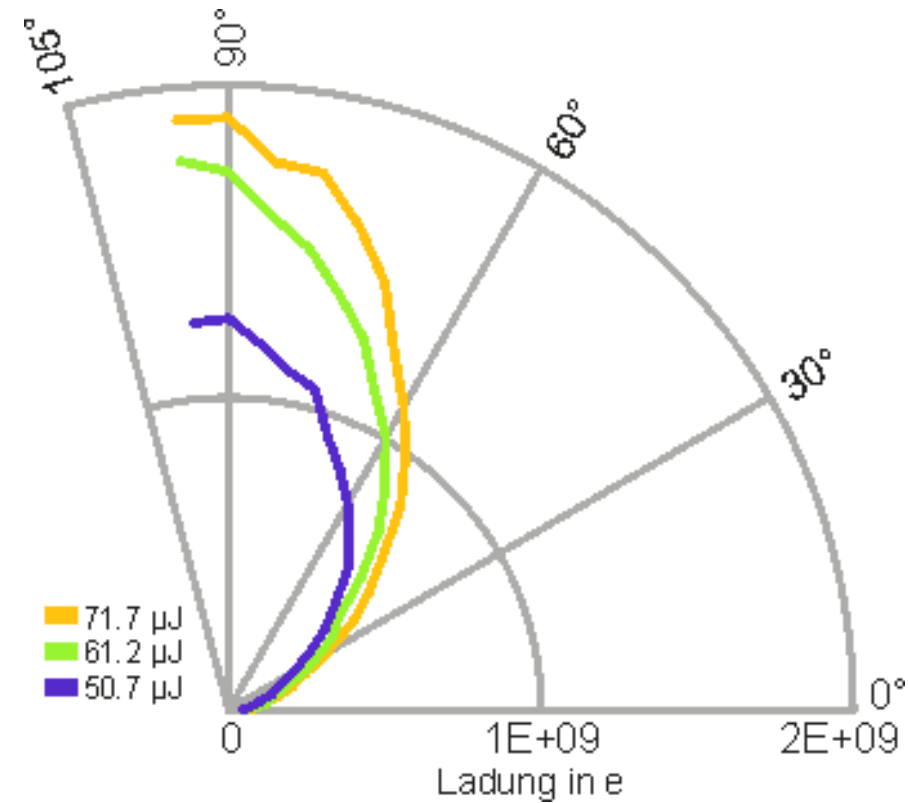
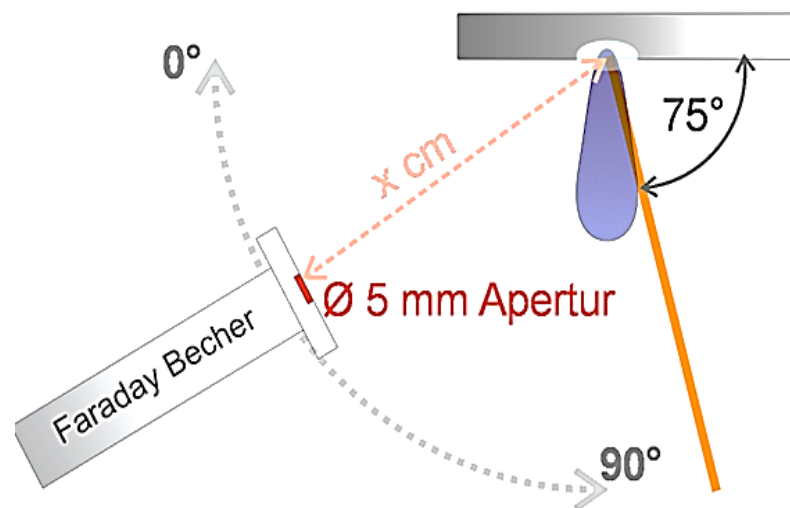
- Vakuumprüfstand (0,6 m x 0,25 m Ø), Druck 10^{-6} - 10^{-7} mbar
- zwei Mikrochip-laser: 1 mJ, 1 ns ; 80 µJ, 500 ps

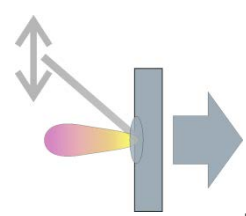


Plasmadiagnostik – Winkelverteilung

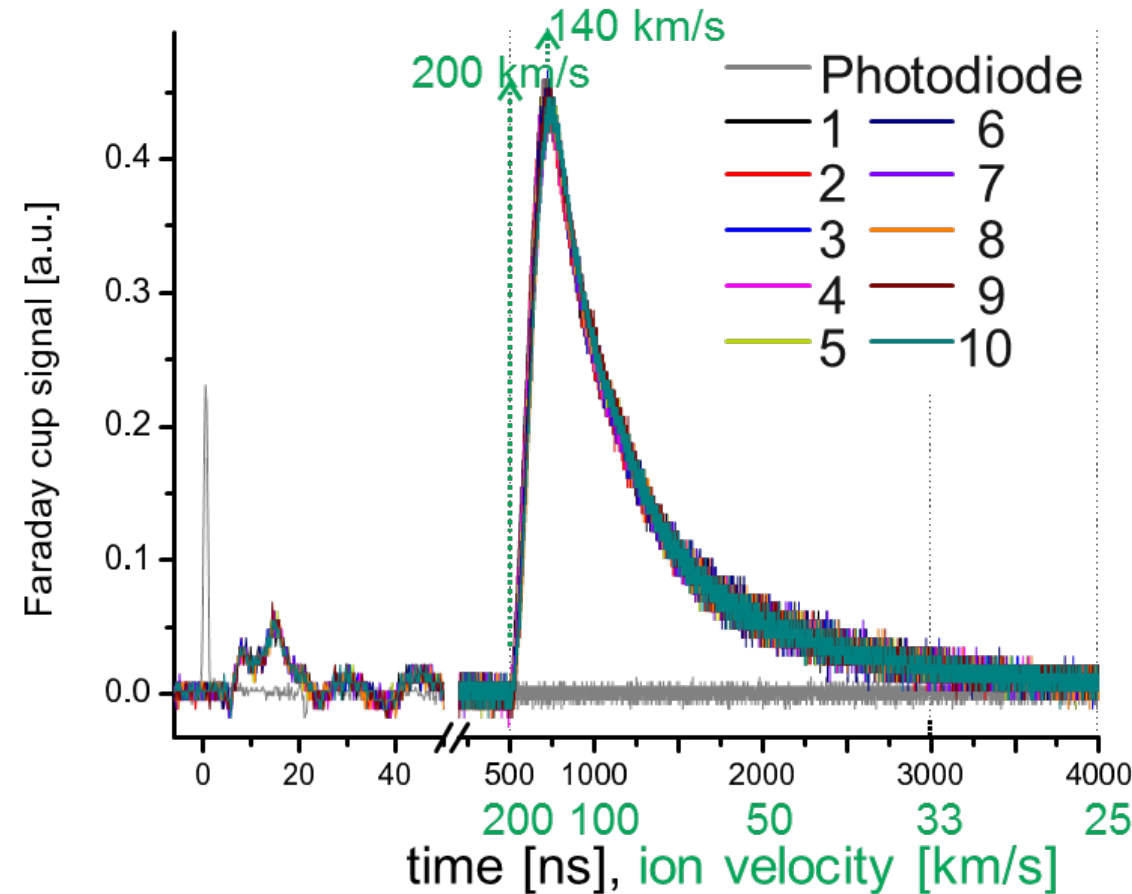
Parameter:

- Laser: Φ , τ
- Targetmaterial: Al, Cu





Plasmadiagnostik – Ionengeschwindigkeit



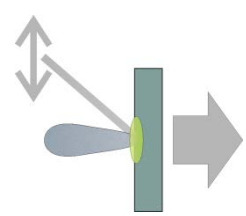
Parameter:

- Laser: Φ , τ
- Ablationsmuster
- Targetmaterial: Al, Cu

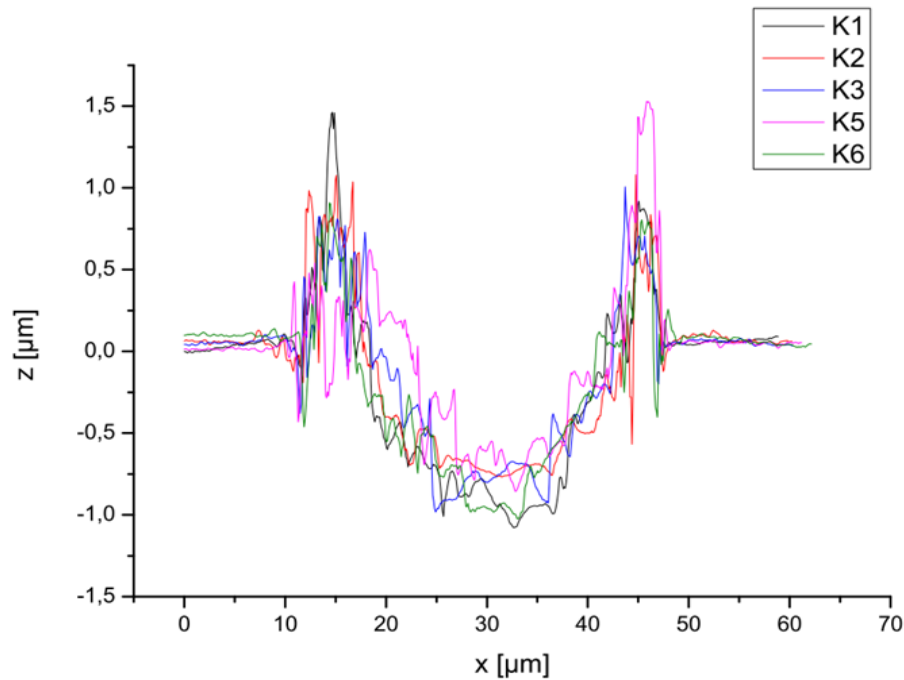
Weitere Untersuchungen:

- Laser: λ , Strahlprofil
- Oberfläche
- Targetmaterial: Ag, Au
- Plasma-Spektroskopie





Oberflächendiagnostik

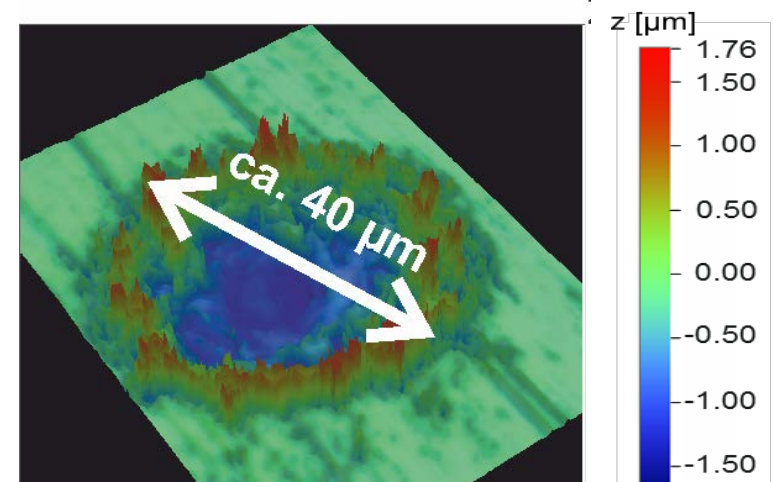


Beispielauswertung für 4 Laserpulse (gemittelt)

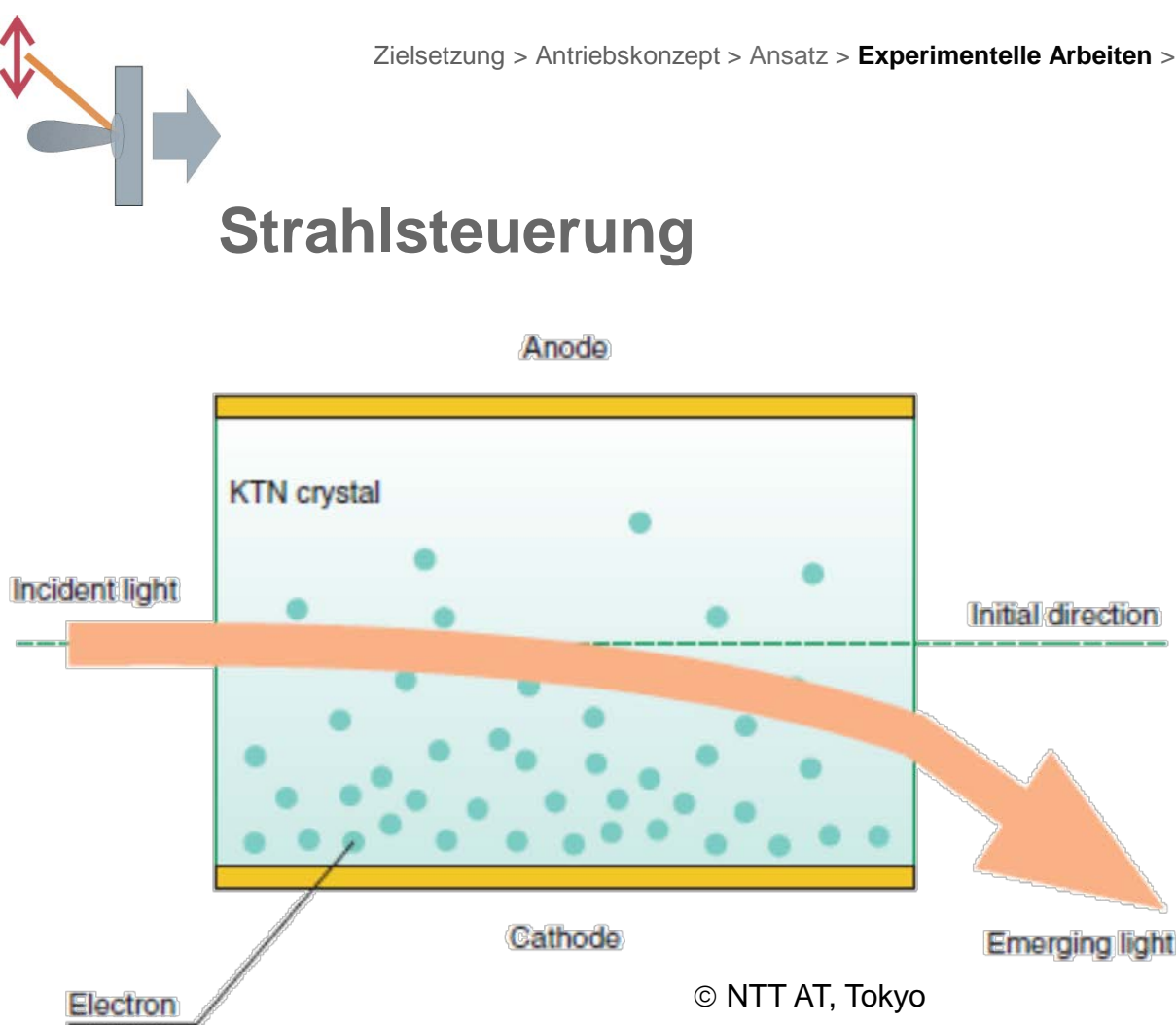
- neg. Volumen: $1489 \mu\text{m}^3$, neg. Masse 4 ng

- pos. Volumen: $754 \mu\text{m}^3$, pos. Masse 2 ng

$V = 735 \mu\text{m}^3$, bzw. $m = 2 \text{ ng}$ ablatiert



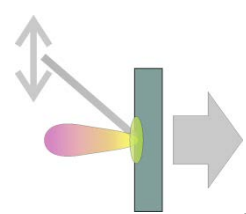
Strahlsteuerung



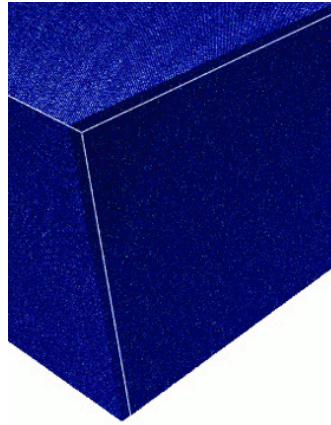
Lichtablenkung durch Brechungsindexgradient
(Elektrooptischer Effekt)

- max. Auslenkwinkel: 2.8°
- max. Scanrate: 200 kHz
- Zerstörschwelle $> 10 \text{ J/cm}^2$
- EO-Linse in der Entwicklung





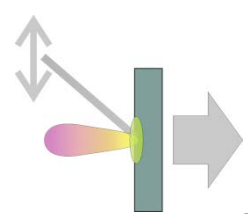
Modellierung Ablationsprozess und Treibstrahl



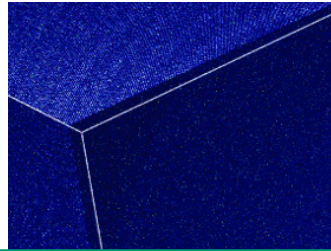
- Molekuldynamik (MD)
- nm, fs – Skala
- IMD-Code - ITAP Stuttgart
- Schubkomponenten
- Kraterbildung
- Materialauswahl

- DSMC-PIC - Verfahren
- μm , ns – Skala
- PICLas-Code - IRS Uni Stuttgart
- Plasmapropagation und -chemie
- Geschwindigkeitsverteilung, I_{sp}
- Jetdivergenz





Modellierung Ablationsprozess und Treibstrahl



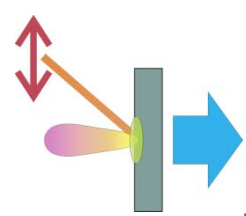
Details:

„Modellierungskonzepte zur laser-induzierten Ablation für den MICROLAS-Antrieb“

Mi 17. April, 14:00 h

- Molekuldynamik / MD-Verfahren
- nm, fs – Skala
- IMD-Code - ITAP Stuttgart
- Schubkomponenten
- Kraterbildung
- Materialauswahl
- μm , ns – Skala
- MICLas-Code - IRS Uni Stuttgart
- Plasmapropagation und -chemie
- Geschwindigkeitsverteilung, I_{sp}
- Jetdivergenz



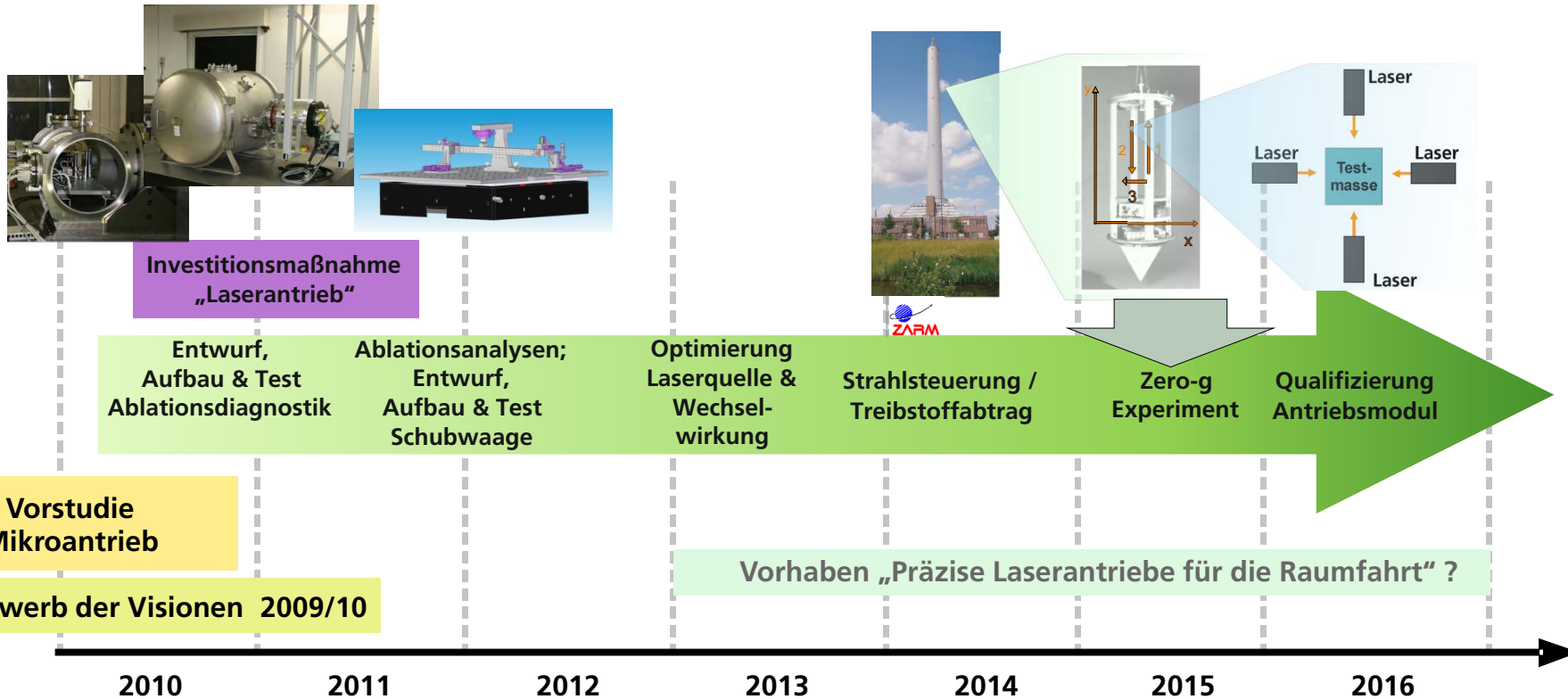


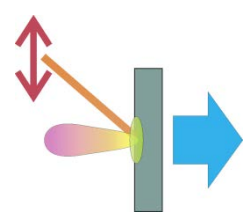
Zusammenfassung

- Experimentelle Einrichtungen:
 - 2 Vakuumkammern (35 l / 500 l)
 - räumlich, zeitlich und spektral aufgelöste Plasmadiagnostik
 - Torsionswaage für sub- μ N-Schubmessungen
 - photonendruckbasierte Schubkalibration (im Aufbau)
 - elektro-optische Strahlsteuerung für laser-induzierten Schub
- Erste experimentelle Ergebnisse:
 - Messung von Ionengeschwindigkeiten / -winkelverteilung
 - Analysen zur Oberflächenstruktur
 - Messung von laserinduziertem Schub
 - Schub-/Leistungsverhältnis: 10 - 60 μ N/W
- Modellierungen zum Ablationsprozess
 - analytische Abschätzungen und 1-D numerische Berechnungen
 - 3-D Modellierung mit MD und DSMC-PIC (Kooperation Univ. Stuttgart)
- Innovatives Antriebskonzept für μ N-Schub bei trägheitsfreiem Betrieb



Vom Konzept zum Triebwerk





Fragen?

